



Our Reference: SPM-365-A

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants: Stefan Braun and Hermann Mai
Serial Number: 10/646,543
Filing Date: August 21, 2003
Examiner/Art Group Unit: Unknown/Unknown
Title: DEVICE AND METHOD FOR THE
FORMATION OF GRADIENT LAYERS ON
SUBSTRATES IN A VACUUM CHAMBER

CERTIFICATE OF MAILING AND TRANSMITTAL LETTER

Commissioner of Patents
P. O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Transmitted with this document is a Postcard; a Submittal of Priority Document; and the Priority Document in the above-identified application.

- No fee is required.
- Please charge any deficiency or credit any excess in the enclosed fees to Deposit Account Number 25-0115.

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as First Class Mail in an envelope addressed to: Commissioner of Patents, P. O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450, on December 3, 2003.

Respectfully submitted,

YOUNG & BASILE, P.C.

Darlene P. Condra

Darlene P. Condra
Attorney for Applicant(s)
Registration No. 37113
(248) 649-3333

3001 West Big Beaver Rd., Suite 624
Troy, Michigan 48084-3107
DPC/dge



Our Reference: SPM-365-A

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants: Stefan Braun and Hermann Mai
Serial Number: 10/646,543
Filing Date: August 21, 2003
Examiner/Art Group Unit: Unknown/Unknown
Title: DEVICE AND METHOD FOR THE
FORMATION OF GRADIENT LAYERS ON
SUBSTRATES IN A VACUUM CHAMBER

SUBMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

The attorney for Applicant(s) respectfully submits, for filing with the subject patent application, the priority document Germany 102 39 163.7 filed August 23, 2002.

Respectfully submitted,

YOUNG & BASILE, P.C.

Darlene P. Condra
Darlene P. Condra
Attorney for Applicant(s)
Registration No. 37113
(248) 649-3333

3001 West Big Beaver Rd., Suite 624
Troy, Michigan 48084-3107

Dated: December 3, 2003
DPC/dge

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 39 163.7
Anmeldetag: 23. August 2002
Anmelder/Inhaber: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung eV,
München/DE
Bezeichnung: Vorrichtung und Verfahren zur Ausbildung von
Gradientenschichten auf Substraten in einer
Vakuumkammer
IPC: C 23 C 14/04

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 24. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Schäfer".

Ebert



FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V.

02F40262-IWS

Patentansprüche

5

1. Vorrichtung zur Ausbildung von Gradientenschichten auf Substraten in einer Vakuumkammer, mittels eines von mindestens einer Plasmaquelle oder durch Verdampfung gebildeten auf die zu beschichtende Oberfläche des Substrates gerichteten Teilchenstromes,

10

bei der zwischen einer Teilchenquelle und Substrat eine Maske mit diskret angeordneten Durchbrechungen angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass

15

die Maske (1) konstanter Dicke, mittels eines Antriebes entlang mindestens einer Achse oszillierend relativ zum Substrat (3) in einer Ebene bewegbar ist, und

20

das Verhältnis freier Querschnitte der diskret in der Maske (1) vorhandenen Durchbrechungen (2) und der dazwischen liegenden Stegflächen der Maske (1) pro Flächeneinheit über die gesamte Fläche oder auf Bereichen der Maske (1) verändert ist,

25

und/oder der Abstand zwischen Oberfläche des Substrates (3) und Maske (1) über die gesamte Fläche oder von Flächenbereichen unterschiedlich groß ist.

30

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchbrechungen

35

- (2) der Maske (1) jeweils gleiche freie Querschnitte und Querschnittsgeometrien aufweisen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die freien Querschnitte der Durchbrechungen (2) kreisförmig, hexagonal, oktogonal oder ellipsenförmig ausgebildet sind.
4. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der freien Querschnitte der Durchbrechungen (2) und dazwischen liegenden Stegflächen pro Flächeneinheit entlang mindestens einer Achse kontinuierlich verändert ist.
5. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchbrechungen in einer Spalten- und Reihenanordnung in der Maske (1) ausgebildet sind.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass in benachbarten Spalten oder Reihen die Durchbrechungen versetzt zueinander angeordnet sind.
7. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstände von Durchbrechungen (2) entlang mindestens einer Achse verändert sind.
8. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche des Substrats (3) in einem schräg geneigten Winkel in Bezug zur Maske (1) ausgerichtet und/oder gewölbt ist.

9. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer gewölbten Substratoberfläche das Verhältnis der freien Querschnitte der Durchbrechungen (2) und der dazwischen liegenden Stegfläche pro Flächeneinheit den jeweiligen Abstand der Substratoberfläche und/oder der Substratoberflächenneigung und der Maske (1) berücksichtigt.
10. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Maske (1) in einem schräg geneigten Winkel in Bezug zur Oberfläche des Substrates (3) ausgerichtet und/oder gewölbt ist.
15. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungsrichtung der oszillierenden Bewegung parallel zu den jeweiligen Reihen und/oder Spalten von Durchbrechungen (2) ausgerichtet ist.
20. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Plasmaquelle eine Magnetronsputterquelle ist.
25. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Substrat (3) und Maske (1) gemeinsam relativ in Bezug zur Plasmaquelle und/oder dem Target (4) bewegbar sind.
30. 14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (3) und die Maske (1) um eine gemeinsame Drehachse rotieren.

15. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Antrieb für die oszillierende Relativbewegung zwischen Substrat (3) und Maske (1) mindestens ein piezoelektrischer Aktuator ist.
5
16. Verfahren zur Ausbildung von Gradientenschichten auf Substraten in einer Vakuumkammer, bei dem ein von einer Plasmaquelle oder durch Verdampfung eines Targetmaterials gebildeter Teilchenstrom durch eine zwischen Teilchenquelle und dem Substrat angeordnete Maske, in der Durchbrechungen ausgebildet sind, gerichtet wird, dadurch gekennzeichnet, dass
10
- 15 die lokale Dicke der ausgebildeten Schicht auf der Substratoberfläche durch vorgegebene lokal angepaßte Verhältnisse freier Querschnitte und der dazwischen liegenden Stegflächen pro Flächeneinheit und/oder
20
- 25 Einhaltung von bestimmten Abständen zwischen Oberfläche des Substrates (3) und der Maske (1), bestimmt wird und die Maske (1) mit konstanter Dicke oszillierend entlang mindestens einer Achse relativ zum Substrat (3) in einer Ebene bewegt wird.
17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer oszillierenden Bewegung der zwischen Umkehrpunkten zurückzulegende Weg oder bei einer kreisbahnförmigen Bewegung der Durchmesser der Kreisbahn dem mittleren Abstand der Mittel- oder Flächenschwerpunkte der Durchbrechungen (2) entspricht.
30

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Relativ- oder die Kreisbahnbewegung in der Maskenebene durchgeführt wird.
- 5 19. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Oberfläche des Substrates (3) ein Gradienten-Multischichtsystem mit mindestens zwei unterschiedlichen Schichtmaterialien ausgebildet wird.
- 10 20. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass eine oder mehrere übereinander ausgebildete Gradientenschicht(en) auf vorgegebenen Bereichen der Oberfläche des Substrates (3) ausgebildet werden.
- 15 21. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht(en) durch Magnetronspattern ausgebildet wird/werden.
- 20 22. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 16 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass Substrat (3) und Maske (1) gemeinsam in Bezug zur Teilchenquelle (4) bewegt werden.
- 25 23. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15 zur Herstellung röntgenoptischer Elemente.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V.
02F40262-IWS

Vorrichtung und Verfahren zur Ausbildung von Gradientenschichten auf Substraten in einer Vakuumkammer

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung sowie ein
5 Verfahren zur Ausbildung von Gradientenschichten auf
Substraten in einer Vakuumkammer und die Verwendung
der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Herstellung
röntgenoptischer Elemente.

10 Die erfindungsgemäße Lösung ist zur Herstellung von
Gradientenschichten und dementsprechend auch von Multischichtsystemen geeignet, die insbesondere für die
Herstellung röntgenoptischer Elemente sowie auch für
den Einsatz bei elektromagnetischer Strahlung im Wel-
15 lenlängenbereich der extremen ultravioletten Strah-
lung eingesetzt werden können.

Die einzelnen Schichten können dabei Schichtdicken im
Bereich zwischen 0,2 nm und 1 μm aufweisen.

5 Insbesondere bei den in Rede stehenden kurzen Wellenlängen der elektromagnetischen Strahlung werden hohe Anforderungen an die entsprechenden lokalen Schichtdicken der Gradientenschichten gestellt, um die gewünschten Schicht- bzw. Beschichtungseigenschaften zu gewährleisten.

10 So ist es bekannt, regelmäßig aufgebaute Multischichtreflektoren (LSM = layered synthetic microstructure) auf Substratoberflächen auszubilden, wobei entsprechende Wechselschichtsysteme aus Werkstoffen mit hoher und geringerer Elektronendichte (z.B. SiO₂, Mo, Si, C), zwischen denen jeweils wiederum auch Barrièreschichten ausgebildet sein können, mit einer Periodenzahl von bis zu 1000 Perioden einzusetzen. Die Barrièreschichten können dabei extrem dünn sein und Schichtdicken im Bereich zwischen 0,2 bis 5 nm aufweisen.

20 Bei an sich bekannten Lösungen bereiten jedoch für die Herstellung von Gradientenschichten bzw. entsprechenden Multischichtsysteme Substrate, deren zu beschichtende Oberfläche zumindest bereichsweise gekrümmmt sind, um neben Reflexion und Monochromatisierung zusätzlich strahlformende Eigenschaften zu erreichen, Probleme.

25 So ist es beispielsweise von R. Dietsch u.a. in „PULSED LASER Deposition (PLD) – an advanced state for technical applications“; Opt. and Quantum Electronics 27 (1995), Seite 1385 bekannt, für die Herstellung sogenannter „Göbelspiegel“ ein Nanometermultischichtsystem auf einer entsprechend gekrümmten Oberfläche eines Substrates auszubilden, in dem das jeweilige Substrat translatorisch mit varierter Geschwindigkeit entlang einer Achse in Bezug zu einer Teilchen-

stromquelle bewegt wird.

Aus US 5,993,904 ist für die Herstellung solcher gradierten Schichten der Einsatz eines Maskenelementes, das mit dem zu beschichtenden Substrat fest verbunden ist, bekannt. Bei diesem Maskenelement sind eine Mehrzahl von Kanälen, mit unterschiedlicher Länge vorhanden, wobei die Längenvariation der Kanäle kontinuierlich gewählt ist. Je nach Länge der Kanäle kann durch diese ein entsprechender Teilchenvolumenstrom die zu beschichtende Substratoberfläche erreichen und dementsprechend im Anschluss an längere Kanäle eine geringere und im Anschluss an entsprechend kürzere Kanäle eine höhere Schichtdicke ausgebildet werden.

Durch den Einsatz eines solchen Kanäle aufweisenden Maskenelementes wird aber die erreichbare Beschichtungsrate auf der Oberfläche des Substrates reduziert, da sich auf dem Maskenelement und innerhalb der Kanäle ein Teil des Teilchenstroms absetzt.

Des Weiteren kann bei einer solchen Lösung die auf der Oberfläche von Substraten ausgebildete Gradientenschicht oder ein entsprechendes Multischichtsystem eine Restwelligkeit nicht vermeiden, die die optischen und röntgenoptischen Eigenschaften negativ beeinflusst.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine Lösung vorzuschlagen, mit der Gradientenschichten mit erhöhter Effektivität und reduzierter Restwelligkeit der Oberfläche der ausgebildeten Gradientenschichten erreichbar sind.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einer Vorrich-

tung, die die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist sowie
einem Verfahren gemäß Anspruch 16 gelöst. Eine vor-
teilhafte Verwendung ergibt sich gemäß Anspruch 23,
für die Herstellung röntgenoptischer Elemente, die
besonders vorteilhaft auch strahlformende Eigen-
schaften aufweisen.

In den untergeordneten Ansprüchen genannte Merkmale
stellen vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiter-
bildungen der Erfindung dar.

Bei der erfindungsgemäßen Lösung wird in einer Vaku-
umkammer die Oberfläche eines Substrates beschichtet,
wobei ein für die Beschichtung ausgenutzter Teilchen-
strom von einer Teilchenquelle gebildet und über eine
zwischen Teilchenquelle und Substrat angeordnete Mas-
ke, mit diskret angeordneten Durchbrechungen, auf die
zu beschichtende Oberfläche des Substrates gerichtet
wird.

Geeignete Teilchenquellen sind z.B. Plasmaquellen,
Targets und Verdampferschiffchen.

Die Maske ist dabei bevorzugt plattenförmig ausgebil-
det und weist generell eine konstante Dicke auf.

Die Maske und das Substrat werden dabei relativ zu-
einander bewegt. Diese Bewegung kann entlang mindes-
tens einer Achse oszillierend erfolgen. Es besteht
aber auch die Möglichkeit, solche entsprechende os-
zillierende Bewegungen entlang zweier orthogonal zu-
einander ausgerichteter Achsen während des Beschich-
tungsvorganges durchzuführen.

Die Relativbewegung kann aber auch kreisbahnförmig
durchgeführt werden, so dass die jeweiligen Durchbre-

chungen der Maske eine kreisbahnhförmige Bewegung ausführen.

5 Mit einer solchen Relativbewegung von Maske und Substrat kann die Restwelligkeit deutlich reduziert werden (z.B. mit einem Faktor 10).

10 Die graduierte Schichtdicke kann bei der erfindungsge- mäß einzusetzenden Maske durch entsprechende Variati-
on des Verhältnisses freier Querschnitte der diskret
in der Maske vorhandenen Durchbrechungen und der da-
zwischen liegenden Stegflächen pro Flächeneinheit er-
halten werden. Solche graduierten Schichtdicken können
über die gesamte Fläche, aber auch auf Bereichen der
15 Maske vorhanden sein, um entsprechende Schichtdicken-
gradienten auf der gesamten Oberfläche oder lediglich
auf Bereichen der zu beschichtenden Oberfläche auszu-
bilden.

20 Schichtdickengradienten können aber auch allein oder zusätzliche zu der vorab beschriebenen Möglichkeit,
durch entsprechende Variation des Abstandes zwischen
Oberfläche des Substrates und der Maske erreicht wer-
den. So kann beispielsweise die Maske in einem schräg
geneigten Winkel zur Substratoberfläche ausgerichtet
sein oder auch eine schräg geneigte Substratoberflä-
che bei einer orthogonal zum jeweiligen Teilchenstrom
ausgerichteten Maske eingesetzt werden.

25 Die Maske kann aber auch vollständig oder auch ledig-
lich bereichsweise konkav bzw. konvex gekrümmmt sein.

30 In der Regel wird es vorteilhaft sein, die in der
Maske diskret angeordneten Durchbrechungen mit je-
weils gleichen freien Querschnitten und auch gleichen
Querschnittsgeometrien auszubilden.

Die freien Querschnitte der Durchbrechungen können kreisförmig, hexagonal, oktogonal oder auch ellipsenförmig ausgebildet sein.

5

Bei hexa- oder auch oktogonalen Querschnittsformen der Durchbrechungen können auch ungleiche Kantenlängen ausgebildet worden sein, um wie auch bei elliptischen Formen langgestreckte freie Querschnitte der Durchbrechungen zu erhalten. Dies ist insbesondere dann günstig, wenn die erfindungsgemäß einzusetzende Maske in einem schräg geneigten Winkel oder mit gekrümmter Ausbildung, in Bezug zur jeweiligen Substratoberfläche ausgerichtet worden ist. So kann der jeweilige Neigungswinkel an der entsprechenden Durchbrechung für den Durchlass des Teilchenstromes kompensiert werden.

10



15

Häufig kann es günstig sein, die Variation des Verhältnisses der freien Querschnitte der Durchbrechungen mit den dazwischen liegenden Stegflächen pro Flächeneinheit entlang einer Achse kontinuierlich vorzusehen.

20



Insbesondere in diesem Fall können die Durchbrechungen in einer Spalten- und Reihenanordnung in der Maske ausgebildet werden. In diesem Fall bietet es sich auch an, die Durchbrechungen in benachbarten Reihen oder Spalten versetzt zueinander anzuordnen.

25

Es besteht aber auch die Möglichkeit, beispielsweise ausgehend vom Mittel- oder Flächenschwerpunkt der Maske dieses Verhältnis von innen radial nach außen zu variieren.

30

Das Verhältnis der freien Querschnittsflächen und der

35

5 dazwischen liegenden Stegflächen pro Flächeneinheit kann aber auch unter Berücksichtigung einer in einem schräg geneigten Winkel ausgerichteten oder gewölbten Substratoberfläche, also die unterschiedlichen Abstände zwischen Maske und Substratoberfläche berücksichtigend, variiert werden.

10 Die translatorische, oszillierende Bewegung zwischen Maske und Substrat sollte bevorzugt parallel zur Ausrichtung der jeweiligen Reihen und/oder Spalten von Durchbrechungen ausgeführt werden.

15  Der bei einer solchen oszillierenden Bewegung zurückgelegte Weg zwischen den Umkehrpunkten sollte dem mittleren Abstand der Mittel- oder Flächenschwerpunkte der Durchbrechungen einer Maske entsprechen.

20 Die gleiche Dimensionierung kann aber auch für den Durchmesser der kreisbahnförmigen Bewegungen, die die einzelnen Durchbrechungen der Maske vollziehen, gewählt werden.

25  Der für die Beschichtung genutzte Teilchenstrom kann mit an sich bekannten CVD- oder auch PVD-Verfahren im Vakuum erzeugt werden. So können beispielsweise die Elektronenstrahlverdampfung, das PLD-Verfahren, ionengestützte Verfahren eingesetzt werden.

30 Als besonders geeignet hat sich das Magnetronputtern herausgestellt, um relativ großflächige, homogene Beschichtungen zu erhalten.

35 Es können Multischichtsysteme sukzessive mit mehreren Teilchenstromquellen in einer gemeinsamen Vakuumkammer ausgebildet werden.

Neben der erfindungsgemäß einzusetzenden Relativbewegung zwischen Maske und Substrat ist es außerdem vorteilhaft zusätzlich Substrat und Maske gemeinsam in Bezug zur Plasmaquelle und/oder einem Target zu bewegen, was wiederum vorteilhaft durch gemeinsame Drehung um eine Rotationsachse erreicht werden kann.

Für die Relativbewegung von Maske und Substrat können verschiedenste Antriebskonzepte eingesetzt werden. So besteht die Möglichkeit, herkömmliche mechanische Antriebe mit und ohne zusätzliche Getriebe, die auch mit dem Antrieb für die gemeinsame Bewegung von Substrat und Maske kombiniert sein können, einzusetzen.

Vorteilhaft kann es aber auch sein, insbesondere für eine oszillierende, translatorische Relativbewegung mindestens einen piezoelektrischen Aktuator einzusetzen, der gegebenenfalls über ein Hebelsystem, die oszillierende Bewegung mit geeignetem Weg zwischen den Umkehrpunkten realisiert.

Mit der Erfindung ist es möglich, nahezu beliebige, aber auch lokal begrenzte Schichtdickengradienten in Einzelschichten oder Multischichtsystemen auf Substratoberflächen auszubilden. Es können Schichtdicken im Bereich $\geq 0,2$ bis zu $1 \mu\text{m}$ realisiert werden.

Die erreichbare Restwelligkeit ist so klein, dass Störungen bei Reflexionen von Röntgenstrahlung vermieden werden können.

Es können unterschiedlichst gestaltete Substratoberflächen in gradierter Form beschichtet werden, wobei zusätzlich Schichtdickenvariationen in verschiedenen Achsausrichtungen erhalten werden können.

Nachfolgend soll die Erfindung beispielhaft näher erläutert werden.

Dabei zeigen:

5

Figur 1 in schematischer Form ein Beispiel für eine erfindungsgemäße Vorrichtung und

10

Figur 2 zwei Beispiele für bei der Erfindung einsetzbare Masken.

In Figur 1 ist unter Verzicht der Darstellung einer Vakuumkammer ein Substrat 3 mit einem Substrathalter 3' dargestellt.

15

20

Zwischen einem Target 4, von dem ein Teilchenstrom auf die zu beschichtende Oberfläche des Substrates 3 gerichtet wird, und der zu beschichtenden Oberfläche des Substrates 3 ist eine erfindungsgemäß einzusetzende Maske 1 vorhanden, die mittels eines ebenfalls nicht dargestellten Antriebes in Bezug zum Substrat 3 bewegt werden kann. Eine entsprechende oszillierende Hin- und Herbewegung ist mittels des Doppelpfeiles angedeutet, was auch auf die in der Maske 1 ausgebildeten Durchbrechungen für die Darstellung in Figur 1 zutrifft.

30

Substrat 3 mit Maske 1 können mit dem Substrathalter 3', bei gleichzeitiger Drehung um die Rotationsachse des Substrathalters 3' über das Target 4 und in den Einflussbereich des Teilchenstromes, wie mit dem nach links ausgerichteten Teil angedeutet, bewegt werden.

35

Zur Vermeidung von unerwünschten Schichtablagerungen oder der Beeinflussung von weiteren Plasmaquellen in

einer Vakuumkammer ist eine Abschirmung 5 vorhanden, die sichert, dass der Teilchenstrom gezielt in Richtung auf die zu beschichtende Oberfläche des Substrates 3 gelangen kann.

5

Der Abstand zwischen der Maske 1 mit den Durchbrechungen 2 zur Oberfläche des Substrates 3 liegt bei diesem Beispiel bei ca. 5 mm.

10

Der zwischen Umkehrpunkten zurückgelegte Weg, der bei diesem Beispiel relativ in Bezug zum Substrat 3 bewegten Maske 1 wurde auf 2 mm eingestellt.

15

Die bereits angesprochene Bewegung von Substrathalter 3' mit Substrat 3 gemeinsam mit der Maske 1 wurde so gesteuert, dass ohne Einsatz der zusätzlichen Maske 1 eine homogene Beschichtung konstanter Schichtdicke auf der Oberfläche des Substrates 3 ausgebildet würde.

20

In Figur 2 sind nebeneinander zwei Beispiele für erfundungsgemäß einzusetzende Masken 1 dargestellt.

25

Dabei wurden bei der links dargestellten Maske 1 kreisförmige und bei der rechts dargestellten Maske 1 hexagonale Durchbrechungen 2 ausgebildet.

30

Bei beiden Beispielen von Masken 1 verkleinert sich das Verhältnis der freien Querschnittsflächen der Durchbrechungen 2 zu den dazwischen liegenden Stegflächen in x-Richtung kontinuierlich.

35

Bei dem links dargestellten Beispiel werden demzufolge die Abstände von in Reihen angeordneten Durchbrechungen 2 von links nach rechts größer und bei dem rechts dargestellten Beispiel werden in der gleichen

Achsrichtung die Stegbreiten zwischen den Durchbrechungen 2 mit hexagonalen freien Querschnitten größer. Daraus folgt, dass die auf der Oberfläche eines Substrates 3 auftreffende Stromdichte des Teilchenstromes in der entsprechenden x-Achsrichtung verkleinert wird und da der Übergang des Verhältnisses kontinuierlich erfolgt, reduziert sich entsprechend auch die Schichtdicke kontinuierlich.

Infolge der Relativbewegung, die zwischen Maske 1 und Substrat 3 durchgeführt wird, kann ein gleichmäßiger Schichtgradient, mit der bereits im allgemeinen Teil der Beschreibung erwähnten erheblich reduzierten Restwelligkeit, erreicht werden.

Das plattenförmige Material für die Masken 1 sollte eine maximale Dicke von 1 mm aufweisen und die Durchbrechungen 2 können beispielsweise durch Laserschneidverfahren oder auch durch herkömmliches Stanzen hergestellt werden.

Die Dicke der Masken 1 kann aber auch deutlich unter 1 mm liegen, wobei in diesen Fällen bevorzugt metallische Folien eingesetzt werden können. Da solche Folien eine reduzierte Festigkeit aufweisen, ist es in diesen Fällen vorteilhaft, die Folien in einen Rahmen zu spannen.

Die Durchbrechungen 2 weisen bei den in Figur 2 gezeigten Beispielen von Masken einen Durchmesser von 2 mm und im rechts dargestellten Beispiel eine Querschnittsdiagonale von 2 mm auf, wobei sich die Abstände von Reihe zu Reihe der Durchbrechungen 2 jeweils im Bereich 0,05 bis 0,1 mm in x-Achsrichtung vergrößern.

712

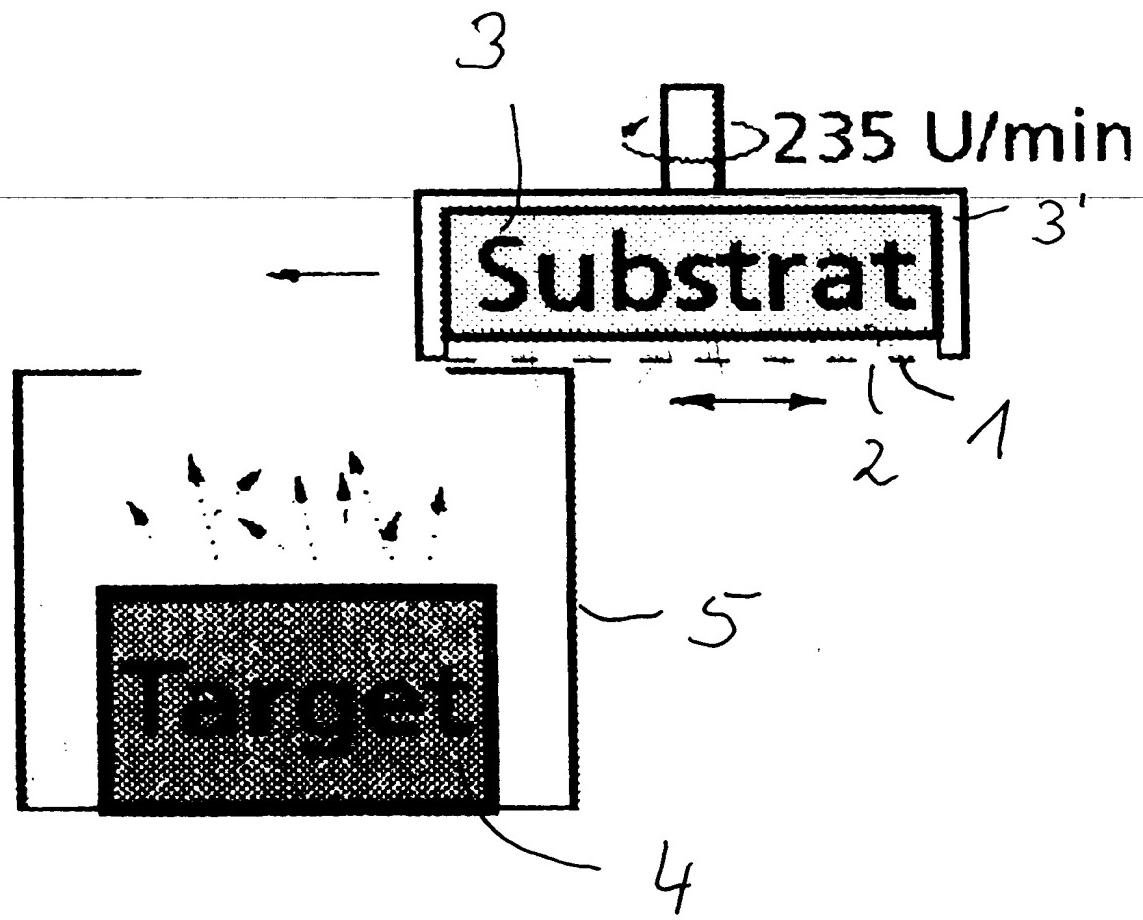


Fig. 1

212

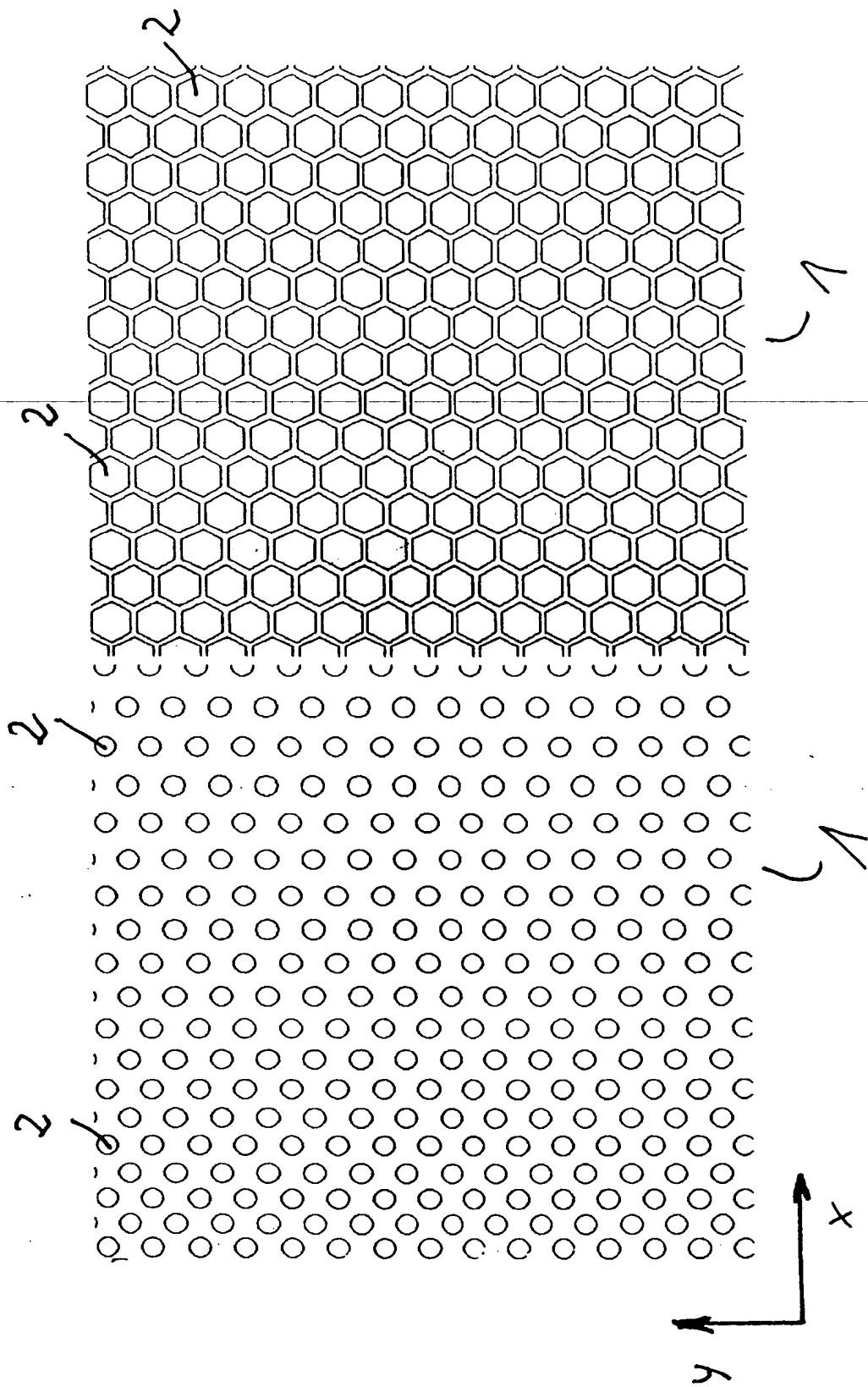


Fig 2